

---

**DM N°24**  
**Interféromètre à division du front d'onde**

---

Lycée ANGEVIN - WALLON

21 mars 2021

# À lire attentivement...

Les candidats devront vérifier que le sujet comporte bien 4 pages numérotées 1/4, 2/4, ... 4/4.

Les candidats sont invités à porter une attention particulière à la rédaction : les copies illisibles ou mal présentées seront pénalisées.

Toute application numérique ne comportant pas d'unité ne donnera pas lieu à attribution de points. Les résultats numériques devront être donnés sous la forme appropriée.

Le sujet comporte :

- 1 exercice d'annale de physique.

Les diverses parties peuvent être traitées dans l'ordre choisi par le candidat. Il prendra toutefois soin de bien numéroter les questions.



**Fig. 1** – Carte mémoire d'optique

L'EMPLOI DE LA CALCULATRICE OU DE TOUTE AUTRE AIDE ÉLECTRONIQUE,  
NOTAMMENT PYTHON, EST AUTORISÉ.

LE TRAVAIL AVEC SON COURS SOUS LES YEUX EST RECOMMANDÉ.

LE PHOTO-COPIAGE DU TRAVAIL D'UN CAMARADE SERA SANCTIONNÉ.

UN RÉSULTAT NON ENCADRÉ NE SERA PAS PRIS EN COMPTE.

Si au cours de la rédaction, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et poursuivra sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

Ce problème est une invitation à regarder vers les étoiles, et tout particulièrement l'étoile la plus proche de la planète Terre après le Soleil : Proxima du Centaure aussi appelée *Proxima Centauri*.

Il est constitué de 4 parties totalement indépendantes. La première partie étudie une caractéristique de l'atmosphère terrestre qui a permis le développement de la vie sur Terre et peut-être un jour sur une exoplanète. La deuxième partie est relative à l'observation de Proxima du Centaure et à la détermination de sa distance et de sa taille. La troisième partie s'intéresse à un vaisseau capable de rejoindre Proxima du Centaure et d'explorer une exoplanète dont la découverte fait l'objet de la dernière partie.

Certaines questions peu ou pas guidées, demandent de l'initiative de la part du candidat. Leur énoncé est repéré par une barre en marge. Il est alors demandé d'expliciter clairement la démarche, les choix et de les illustrer, le cas échéant, par un schéma. Le barème valorise la prise d'initiative et tient compte du temps nécessaire à la résolution de ces questions.

Certaines données numériques sont regroupées en fin d'énoncé; d'autres relèvent de l'initiative du candidat.

## 1.1 Découverte de Proxima du Centaure

### 1.1.1 Première observation de l'étoile

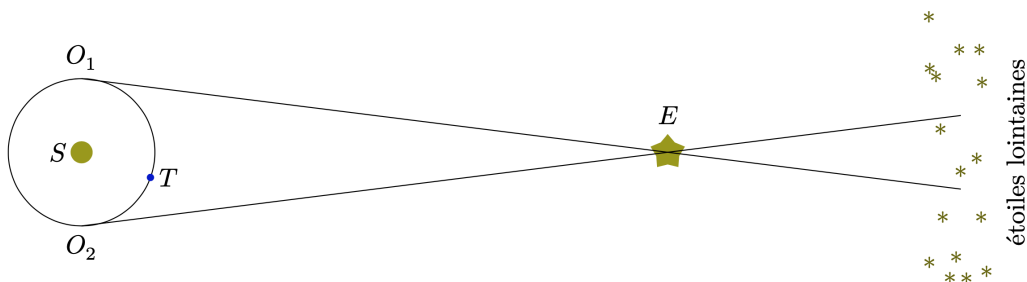
L'étoile *Proxima Centauri* a été découverte en 1915 par l'astronome britannique Robert INNES, alors directeur de l'observatoire de l'Union à Johannesburg en Afrique du Sud. C'est une étoile de type naine rouge, de masse  $M_E = 2,44 \times 10^{29} \text{ kg}$  et de rayon  $R_E = 9,81 \times 10^4 \text{ km}$ . Elle est située à  $D_E = 3,99 \times 10^{13} \text{ km}$  soit 4,22 années-lumière du Soleil.

Dans la suite du sujet, toutes les applications numériques seront faites à la longueur d'onde moyenne du visible  $\lambda_{\text{obs}} = 600 \text{ nm}$ .

### 1.1.2 Mesure de la distance entre la Terre et l'étoile

La parallaxe est l'effet du changement de position de l'observateur sur ce qu'il perçoit.

La parallaxe annuelle est, par définition, l'angle qui mesure le déplacement, au cours de l'année, de la position apparente, perçue depuis la Terre, d'une étoile proche par rapport aux étoiles lointaines (figure 1.1).



**Fig. 1.1** – Schéma explicatif de la mesure de parallaxe solaire

Sur la figure 1.1, deux instants d'observation sont représentés par  $O_1$  et  $O_2$ .

Le satellite Hipparcos (*High Precision Parallax Collection Satellite*) a mesuré la parallaxe de  $P_E =$

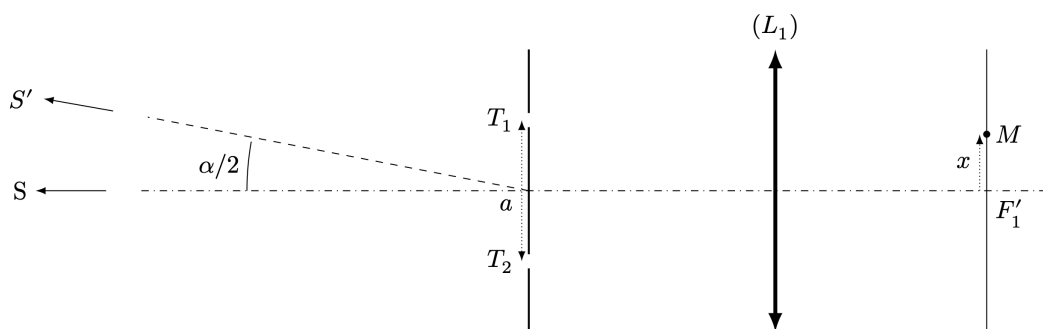
1545 millisecondes · d'arc pour *Proxima Centauri*.

1. Calculer, à partir de cette valeur de la parallaxe  $P_E$ , la distance séparant l'étoile *Proxima Centauri* du système solaire et comparer à la valeur donnée au début de cette partie.
2. Pourquoi la distance entre la Terre et le Soleil varie-t-elle au cours de l'année ?

### 1.1.3 Mesure du rayon de l'étoile

En 2002, le VLT (*Very Large Telescope*) utilisa l'interférométrie pour mesurer le diamètre angulaire de *Proxima Centauri* :  $\alpha \simeq 1,02 \pm 0,08$  milliseconde · d'arc. Connaissant sa distance, obtenue par la méthode de la parallaxe, il est alors possible de déterminer son rayon.

L'étoile est d'abord supposée ponctuelle et l'instrument d'optique est pointée sur elle. L'étoile se situe à l'infini sur l'axe optique de l'instrument, elle est repérée par son centre  $S$ . Le dispositif d'interférométrie est modélisé par deux trous d'YOUNG de taille identique, respectivement en  $T_1$  et  $T_2$ , séparés d'une distance  $a$  réglable. Ce dispositif est placé devant la lentille convergente  $L_1$  de l'instrument d'optique. Pour simplifier, on ne tiendra pas compte dans cette partie de la seconde lentille  $L_2$  et les observations sont donc effectuées dans le plan de l'image intermédiaire. Un point  $M$  dans ce plan est repéré par son abscisse  $x$  (figure 1.2).



**Fig. 1.2** – Schéma du dispositif d'interférométrie pour la mesure du rayon de l'étoile *Proxima Centauri*

3. Faire un schéma des deux rayons lumineux passant par  $T_1$  et  $T_2$  qui convergent vers le point  $M$ . Représenter la différence de marche entre ces deux rayons sur ce schéma.
4. Établir l'expression de l'ordre d'interférence  $p_S(M)$ , produit par la source  $S$  au point  $M$ .
5. Décrire alors la figure d'interférences.
6. En notant  $I_0$  l'intensité moyenne, donner, sans démonstration, l'expression de l'intensité lumineuse  $I(M)$  dans le plan d'observation.

L'étoile est à présent modélisée comme une source étendue vue sous un diamètre angulaire  $\alpha$ . On considère un autre point source  $S'$  à la périphérie de l'étoile (figure 1.2).

7. Faire un schéma des deux rayons lumineux issus de  $S'$ , passant par  $T_1$  et  $T_2$  et qui convergent vers le point  $M$ . Représenter la différence de marche entre ces deux rayons sur ce schéma.
8. Établir l'expression de l'ordre d'interférence  $p_{S'}(M)$  produit par la source  $S'$  au point  $M$ .
9. En déduire l'expression de la plus petite valeur de  $a$  qui conduit au brouillage de la figure d'interférence produite par les deux sources incohérentes  $S$  et  $S'$ .
10. Faire l'application numérique et commenter.
11. Expliquer qualitativement pourquoi le raisonnement précédent, utilisant deux sources ponctuelles l'une située au centre et l'autre sur le bord apparent de l'étoile, rend compte des observations obtenues avec l'objet étendu qu'est la véritable étoile.

## Données

Perméabilité magnétique du vide	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$
Permittivité diélectrique du vide	$\varepsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$
Charge élémentaire	$e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$
Constante d'Avogadro	$N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Constante de Boltzmann	$k_B = 1,381 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$
Constante des gaz parfaits	$R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
Constante de Planck	$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
Vitesse de la lumière dans le vide	$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Constante universelle de la gravitation	$G = 6,674 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
Masse de l'électron	$m_e = 9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Masse du proton	$m_p = 1,673 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Rayon moyen de la Terre	$R_T = 6,38 \times 10^6 \text{ m}$
Distance Terre-Soleil	$D_{TS} = 1,50 \times 10^8 \text{ km}$
Masse de la Terre	$M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$
Rayon du Soleil	$R_S = 6,96 \times 10^8 \text{ km}$
Masse du Soleil	$M_S = 1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$
Masse volumique de l'eau pure à 10 °C	$\rho = 1,00 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Énergie de l'atome d'hydrogène dans son état fondamental	$-13,6 \text{ eV}$
Numéro atomique de l'oxygène	8
Masse molaire atomique de l'oxygène	$16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
Enthalpie molaire standard de formation de $\text{O}_3$	$141,9 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ (à 298 K)
Entropie molaire standard de $\text{O}_2$	$205 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ (à 298 K)
Entropie molaire standard de $\text{O}_3$	$239 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ (à 298 K)